10.22092/sppi.2021.123891

"مجله نهال و بذر"
جلد ۳۶، شماره ۴، سال ۱۳۹۹

مقاله پژوهشی

# ارزیابی مقاومت برخی ارقام گندم نان بهاره ایران نسبت به بیماری زنگ سیاه در مرحله گیاهچه

# Evaluation of Resistance of Some Iranian Spring Bread Wheat Cultivars to Stem Rust Disease at Seedling Stage

علی صارمی‌راد[۱]، محمدرضا بی‌همتا[۲]، علی ملیحی‌پور[۳]، خداداد مصطفوی[۴] و هادی علی‌پور[۵]

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، و باشگاه پژوهشگران و نخبگان جوان، کرج، ایران.
۲- استاد، دانشکده کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۳- استادیار، مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۴- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاروزی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.
۵- استادیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۷

## چکیده

**صارمی‌راد، ع.، بی‌همتا، م. ر.، ملیحی‌پور، مصطفوی، خ. و علی‌پور، ه. ۱۳۹۹.** ارزیابی مقاومت برخی ارقام گندم نان بهاره ایران نسبت به بیماری زنگ سیاه در مرحله گیاهچه. **مجله نهال و بذر۳۶:** ۴۰۱-۳۸۳.

**مقاومت ۵۸ رقم گندم نان بهاره نسبت به بیماری زنگ سیاه ناشی از قارچ *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* در مرحله گیاهچه در سال ۱۳۹۸ در گلخانه های تحقیقاتی بخش تحقیقات ها غلات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در کرج مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور از چهار نژاد TTTTF، PTRTF، TTKTK و TKTTF که در سال‌های اخیر از نژادهای غالب قارچ عامل بیماری زنگ سیاه گندم در ایران شناسایی شده‌اند، استفاده شد. بر اساس واکنش ارقام گندم مورد ارزیابی رقمی که در برابر تمامی نژادها دارای واکنش مقاومت باشد، مشاهده نشد و تنها سه رقم عدل، دز و افق هر یک در برابر سه نژاد مختلف از چهار نژاد مورد استفاده مقاومت نشان دادند. نتایج نشان داد که ۱۲ رقم در برابر دو نژاد TTTTF و TTKTK، ۱۰ رقم در برابر نژاد PTRTF و هفت رقم در برابر نژاد TKTTF دارای واکنش مقاومت در مقیاس "0" تا "+2" بودند. تجزیه خوشه‌ای به روش وارد (Ward) ارقام مورد مطالعه را در پنج گروه مختلف: مقاوم، نیمه مقاوم، متوسط، نیمه حساس و حساس برای هر یک از نژادها طبقه‌بندی کرد. بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، ارقام سیوند، پیشتاز، عدل، نیک‌نژاد و افق نسبت به دو نژاد TTTTF و PTRTF و رقم کاوه نسبت به دو نژاد TTKTK و TKTTF مقاومت نشان دادند. مقاومت مشاهده شده در این ارقام ممکن است ناشی از ژن(های) شناسایی نشده یا ترکیبات ژنی باشد که توسط نژادهای زنگ سیاه مورد استفاده بی‌اثر نشده‌اند. اطلاعات ارائه‌شده در خصوص واکنش ارقام گندم بهاره در مرحله گیاهچه می‌تواند برای به‌نژادگران گندم در راستای بهبود ژرم‌پلاسم گندم نسبت به بیماری زنگ سیاه مفید باشد. بدیهی است که ارزیابی واکنش ارقام گندم نان به نژادهای عامل بیماری زنگ سیاه در مرحله گیاه کامل نیز بایستی مد نظر قرار گیرد.**

**واژه‌های کلیدی: گندم نان بهاره، ارقام تجاری، *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*، نژاد، ژن‌های مقاومت.**

نگارنده مسئول: mrghanad@ut.ac.ir تلفن: ۰۲۶۳۲۲۴۶۰۷۴

## مقدمه

گندم یکی از محصولات غذایی اساسی است که تقریباً ۲۰ درصد از کالری دریافتی انسان را تأمین می‌کند (Pfeifer *et al.*, 2014). با توجه به شاخص‌های رشدی جمعیت جهان، به‌منظور تأمین نیاز تغذیه‌ای جمعیت بشری تا سال ۲۰۵۰ میلادی، مطابق پیش‌بینی‌ها، عملکرد دانه غلات باید به میزان ۵۰ درصد افزایش یابد (Godfray *et al.*, 2010). این در حالی است که برخی عوامل، تولید و افزایش عملکرد دانه را در غلات به‌خصوص گندم به چالش می‌کشند و سبب افت محصول می‌شوند. این عوامل به دو دسته تنش‌های زیستی و غیر زیستی تقسیم می‌شوند. بیماری‌ها و آفات از جمله تنش‌های زیستی بسیار مهم هستند که سالانه حدود ۲۰ درصد عملکرد جهانی گندم را کاهش می‌دهند (Oerke, 2006).

قارچ *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* عامل بیماری زنگ سیاه یا زنگ ساقه گندم است که باعث کاهش عملکرد و کیفیت نهایی محصول می شود. پتانسیل خسارت این بیماری در جهان سالانه تا ۱/۱۲ میلیارد دلار برآورد شده است (Pardey *et al.*, 2013). در واقع زنگ سیاه به‌عنوان یک تهدید بسیار جدی در مناطق عمده کشت گندم در سراسر جهان مطرح است. این بیماری که معمولاً تحت شرایط مرطوب و درجهٔ حرارت‌های بالا در بازه ۱۵ تا ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد توسعه پیدا می‌کند، خسارت‌زاترین بیماری زنگ در میان زنگ‌های گندم است، به‌طوری‌که میزان خسارت ناشی از آن ممکن است تا نابودی کامل مزارع گندم در سطح وسیع نیز برسد (Roelfs *et al.*, 1992; Singh *et al.*, 2015).

قارچ عامل بیماری زنگ سیاه جزو زنگ‌های بلند چرخه (Macrocyclic) است که مراحل پیکنیومی (Pycnium) و ایسیدیومی (Aecium) آن روی میزبان واسط (Alternative host) گونه‌های زرشک [Barberry (*Berberis vulgaris* L.)] و مراحل اوردیومی (Uredium) و تلیومی (Telium) آن روی گندم، جو، تریتیکاله و چند گونه نزدیک دیگر شکل می‌گیرد (Roelfs *et al.*, 1992). قارچ عامل بیماری به دلیل داشتن میزبان واسط، از سازکار نوترکیبی جنسی برخوردار است و از این طریق سبب ایجاد نژادهای جدید بیماری می‌شود. تکامل نژاد بیماری‌زای جدید از طریق مهاجرت، جهش و فشار گزینشی در قارچ عامل بیماری نیز از عوامل ایجاد نژاد(های) جدید با قدرت بیماری‌زایی (Virulence) متفاوت به‌شمار می‌رود (Kolmer, 1996; Singh *et al.*, 2008).

بیماری زنگ سیاه در طول قرن گذشته یکی از مهم‌ترین بیماری‌های گندم بوده و همه گیری بزرگی از آن در بسیاری از کشورهای تولیدکننده گندم روی داده است (Esfandiari, 1947; Roelfs and Bushnell, 1985; Joshi *et al.*, 1986; Leonard and Szabo, 2005; Hodson, 2011). در ایران، اولین گزارش در ارتباط با بیماری زنگ سیاه

مربوط بـه سـال ۱۳۱۸ می‌باشـد. پـس‌ازآن وقـوع چنـدین همـه‌گیـری از بیمـاری در منـاطق عمـده کشـت گنـدم بـه‌ویژه در نـواحی جنـوبی و منـاطق گـرم و مرطـوب شـمال کشـور گـزارش شده است (Sharif *et al.*, 1970; Bamdadian and Torabi, 1978). در همه‌گیری سـال ۱۳۵۵ در منـاطق جنـوب و جنـوب شـرقی کـه بـه دنبـال مساعدشـدن شـرایط اقلیمـی جهـت ظهـور و توسـعه زنـگ سـیاه پدیـد آمـد، کـاهش عملکـرد تـا ۹۰ درصـد هـم گـزارش شـد (Bamdadian and Torabi, 1978).

با ظهور نژاد جدیدی از قارچ عامل بیمـاری بـه نـام نـژاد Ug99 در دو دهـه پـیش، نگرانی‌هـای زیادی برای تولید گندم در مناطق مختلـف جهـان بـه دلیـل حساسیت بیشـتر ارقـام مـورد کشـت در سراسـر جهـان (Baraibar *et al.*, 2020) ایجاد شد و این بیماری مجدداً در کانون توجهـات قـرار گرفته است. این نژاد که بـرای اولـین بـار در سـال ۱۹۹۹ در کشـور آفریقـایی اوگانـدا شناسـایی شـد (Pretorius *et al.*, 2000)، روی ژن مقاومت *Sr31* که به همراه چند ژن مقاوم دیگر بـرای بیش از ۴۰ سال مقاومت گندم در برابـر این بیماری را حفظ کرده بود، بیمـاری‌زایی داشـت. ایـن نـژاد از قارچ عامـل بیمـاری، عـلاوه بـر بیمـاری‌زایی روی ژن *Sr31* روی بسـیاری از ژن‌هـای مقاومـت موجـود در ژرم‌پلاسـم گنـدم مرکـز بـین المللـی تحقیقـات ذرت و گنـدم (CIMMYT)، اروپـا، آمریکای شـمالی و اسـترالیا نیـز بیمـاری‌زایی دارد (Reynolds and Borlaug, 2006, Jin *et al.*, 2007). منطقـه تهدیـد فـوری در مسـیر پیشـروی ایـن نـژاد در شـمال آفریقـا، خاورمیانـه و آسـیا (به‌استثنای چین) بـه مسـاحت حـدود ۵۰ میلیـون هکتـار گنـدم اسـت، یعنـی تقریبـاً ۲۵ درصـد از کـل سـطح زیـر کشـت گنـدم در جهـان کـه ۱۹ درصـد تولیـد جهـانی گنـدم را تشـکیل می‌دهـد (Reynolds and Borlaug, 2006). نژاد Ug99 در سـال ۱۳۸۶ در ایـران مشـاهده و در سـال ۱۳۸۸ وجـود آن رسـماً گـزارش گردیـد (Nazari *et al.*, 2009).

به‌منظور کنترل و مدیریت بیماری زنـگ سـیاه دو راهکار اساسی وجـود دارد کـه شـامل اسـتفاده از قارچ‌کش ها و استفاده از ارقام مقـاوم می‌باشـد. اسـتفاده از قارچ‌کش‌هـا بـه دلیـل هزینـه بـالا، عـدم دسترسـی همیشـگی، خطـر ایجـاد مقاومـت قـارچ عامـل بیمـاری‌زا در برابـر آن و احتمـال آلـودگی محیط‌زیسـت ممکـن اسـت بـه شـکل مسـتمر عملـی نباشـد، امـا اسـتفاده از ارقـام مقـاوم راهکـاری مـؤثر و اقتصـادی جهـت کنتـرل و مـدیریت بیمـاری به‌شـمار مـی‌رود (Oliver, 2014; Singh *et al.*, 2016). در ایـن رابطه، آگاهی از میـزان تنـوع ژنتیکـی موجـود در ارقـام و لاین‌هـای گنـدم بـه‌منظور انتخـاب دقیـق ژنوتیپ‌هـای حـاوی ژن‌هـای مقاومـت اهمیـت فراوانی دارد. دستیابی به ایـن مهـم تنهـا بـا داشـتن دانـش کـافی در زمینـه ژنتیـک جمعیـت عامـل بیماری و شناسایی ژن‌های مقاومت مـؤثر در ارقـام و لاین‌های گندم اصلاح‌شده میسر می‌شود.

این پژوهش با هـدف بررسـی و تعیـین میـزان مقاومت و حساسیت ارقام گندم نـان بهـاره ایـران در مرحلـه گیاهچـه نسبت بـه چهـار نـژاد غالـب

قارچ عامل بیماری زنگ سیاه شناخته شده در کشورانجام شد.

## مواد و روش‌ها

### نژادهای قارچ عامل بیماری

مشخصات جدایه‌های قارچ *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* (*Pgt*) مورد استفاده در این پژوهش که در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ از مناطق مختلف کشور جمع‌آوری شد و پس از شناسایی در واحد بیماری های غلات بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر نگهداری می‌شوند، در جدول ۱ آورده شده است. طی چند سال اخیر، این نژادها به‌عنوان نژادهای شایع بیماری زنگ سیاه در کشور بوده‌اند و به‌صورت متداول در گلخانه‌های واحد بیماری های غلات جهت ارزیابی مرحله گیاهچه‌ای لاین‌های به نژادی گندم نان مورد استفاده قرار می‌گیرند.

جدول ۱- مشخصات نژادهای قارچ عامل بیماری زنگ سیاه مورد استفاده جهت ارزیابی ارقام گندم نان بهاره

Table 1. Detailed description of the *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* races used for evaluation of spring bread wheat cultivars

| | | | ژن‌های مقاومت به زنگ سیاه<br>Stem rust (*Sr*) resistance genes | |
|---|---|---|---|---|
| جدایه<br>Isolate | مکان<br>Location | نژاد<br>Race | غیر مؤثر<br>Ineffective | مؤثر<br>Effective |
| 94-8 | Boroujerd, Lorestan, Iran | TTTTF | *Sr5, Sr6, Sr7a, Sr7b, Sr8a, Sr8b, Sr9a, Sr9b, Sr9d, Sr9e, Sr9g, Sr10, Sr11, Sr12, Sr13, Sr14, Sr15, Sr16, Sr17, Sr18, Sr19, Sr20, Sr21, Sr22, Sr23, Sr25, Sr28, Sr29, Sr30, Sr34, Sr35, Sr36, Sr37, Sr38, Sr40, SrTmp,* and *SrMcN* | *Sr24, Sr26, Sr27, Sr31, Sr33,* and *Sr39* |
| 94-15 | Kelardasht, Mazandaran, Iran | PTRTF | *Sr5, Sr6, Sr7b, Sr8a, Sr8b, Sr9a, Sr9b, Sr9d, Sr9e, Sr9g, Sr10, Sr11, Sr12, Sr13, Sr14, Sr15, Sr16, Sr17, Sr18, Sr19, Sr20, Sr25, Sr27, Sr28, Sr29, Sr34, Sr35, Sr36, Sr37, Sr38, Sr39, SrTmp,* and *SrMcN* | *Sr7a, Sr21, Sr22, Sr23, Sr24, Sr26, Sr30, Sr31, Sr32, Sr33,* and *Sr40* |
| 95-2 | Shavour, Khuzestan, Iran | TTKTK | *Sr5, Sr6, Sr7a, Sr7b, Sr8a, Sr8b, Sr9a, Sr9b, Sr9d, Sr9e, Sr9g, Sr10, Sr11, Sr12, Sr14, Sr15, Sr16, Sr17, Sr18, Sr19, Sr20, Sr21, Sr23, Sr28, Sr29, Sr30, Sr31, Sr33, Sr34, Sr37, Sr38, SrTmp,* and *SrMcN* | *Sr13, Sr22, Sr24, Sr25, Sr26, Sr27, Sr32, Sr35, Sr36, Sr39,* and *Sr40* |
| 95-31 | Kelardasht, Mazandaran, Iran | TKTTF | *Sr5, Sr6, Sr7a, Sr7b, Sr8a, Sr8b, Sr9a, Sr9b, Sr9d, Sr9e, Sr9g, Sr10, Sr11, Sr12, Sr14, Sr15, Sr16, Sr17, Sr18, Sr19, Sr20, Sr21, Sr23, Sr28, Sr29, Sr30, Sr34, Sr35, Sr36, Sr37, Sr38, SrTmp,* and *SrMcN* | *Sr22, Sr24, Sr25, Sr26, Sr27, Sr31, Sr32, Sr33, Sr39,* and *Sr40* |

### مواد گیاهی

مواد گیاهی مورد استفاده در این پژوهش شامل ۵۸ رقم تجاری گندم نان بهاره از ارقام قدیم و جدید ایران (معرفی شده از سال ۱۳۲۱ تا ۱۳۹۱) به همراه دو رقم شاهد حساس موراکو (Morocco) و مکنیر (McNair) بودند که از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (کرج) تهیه شدند. نام و خصوصیات این ارقام در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲-واکنش ارقام گندم نان بهاره در برابر نژاد های مختلف قارچ عامل بیماری زنگ سیاه در مرحله گیاهچه ای

Table 2. Reaction of spring bread wheat cultivars against different stem rust pathogen races at seedling stage

| | | سال آزاد سازی | Stem rust pathogen races reaction | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cultivar | رقم | Year of release | TTTTF | PTRTF | TTKTK | TKTTF |
| Adl-1 | عدل -۱ | 1962 | 1 | 1+ | 2+ | 3+ |
| Aflak | افلاک | 2010 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| Neishabour (Akbari) | نیشابور (اکبری) | 2006 | 3+ | 3 | 4 | 4 |
| Alborz | البرز | 1978 | 2+ | 2+ | 3 | 4 |
| Arta | آرتا | 2006 | 2+ | 4 | 3+ | 4 |
| Arvand-1 | اروند-۱ | 1973 | 2+ | 3+ | 3+ | 4 |
| Atrak | اترک | 1995 | 3 | 2- | 3 | 3+ |
| Bahar | بهار | 2007 | 4 | 4 | 2 | 4 |
| Bam | بم | 2006 | 3+ | 3+ | 3 | 3+ |
| Bayat | بیات | 1976 | 3 | 3+ | ;1 | 3+ |
| Bistoon | بیستون | 1980 | 3+ | 3+ | 3+ | 4 |
| Chamran | چمران | 1997 | 3+ | 3+ | 3 | 4 |
| Chamran-2 | چمران -۲ | 2013 | 4 | 4 | 3+ | 4 |
| Darab-1 | داراب -۱ | 1980 | 3+ | 3+ | 3+ | 3 |
| Darab-2 | داراب-۲ | 1995 | 3+ | 3+ | 2 | 3+ |
| Darya | دریا | 2006 | 3+ | 4 | 3 | 4 |
| Dastjerdi | دستجردی | 1960 | 4 | 4 | 3+ | 3+ |
| Dayhim | دیهیم | 1968 | 3 | 3+ | 3 | 4 |
| Dez | دز | 2002 | 4 | 2+ | 1 | 2+ |
| Falat | فلات | 1990 | 4 | 3+ | 2 | 2+ |
| Gahar | گهر | 1996 | 4 | 3 | 2- | 2+ |
| Golestan | گلستان | 1986 | 4 | 3+ | 3+ | 2+ |
| Hamoon | هامون | 2002 | 4 | 3 | 3+ | 4 |
| Inia 66 | انیا ۶۶ | 1968 | 3+ | 2+ | 3+ | 3 |
| Karim | کریم | 2011 | 2C | 4 | 3+ | 4 |
| Kaveh | کاوه | 1980 | 3 | 3+ | ; | 1 |
| Kavir | کویر | 1997 | 4 | 4 | 3 | 3+ |
| Khazar-1 | خزر-۱ | 1973 | 4 | 3+ | 3+ | 4 |
| Kohdasht | کوهدشت | 2000 | 3+ | 4 | 3 | 4 |
| Mahdavi | مهدوی | 1995 | 4 | 3+ | 4 | 4 |
| Maroon | مارون | 1991 | 4 | 3 | 3+ | 4 |
| Marvdasht | مرودشت | 1999 | 3+ | 3+ | 2- | 3+ |
| Morvarid | مروارید | 2009 | 3 | 3 | 2 | 3+ |
| Moghan-1 | مغان-۱ | 1973 | 4 | 3+ | 3+ | 3 |
| Moghan-2 | مغان-۲ | 1974 | 4 | 4 | 3 | 3+ |
| Moghan-3 | مغان-۳ | 2006 | 3+ | 3+ | 3+ | 3+ |
| Naz | ناز | 1978 | 4 | 4 | 3 | 4 |
| Niknezhad | نیک نژاد | 1995 | 2 | 1 | 3+ | 3+ |
| Ofogh | افق | 2012 | 2 | 2- | 3 | 2+ |
| Panjamo T 62 | پنجامو تی ۶۲ | 1968 | 3+ | 4 | 3+ | 3+ |
| Parsi | پارسی | 2009 | 4 | 4 | 2+ | 4 |
| Pishtaz | پیشتاز | 2002 | 1 | 1+ | 3 | 4 |
| Qaboos | قابوس | 2013 | 2 | 3+ | 3+ | 4 |
| Ghods | قدس | 1989 | 4 | 4 | ;1 | 3 |
| Reyhani | ریحانی | 1942 | 4 | 3+ | 3+ | 4 |
| Roshan | روشن | 1958 | 3+ | 3+ | 3 | 3+ |
| Sepahan | سپاهان | 2006 | 3+ | 4 | 4 | 3+ |
| Shanghai | شانگهای | 2002 | 3+ | 3+ | 3 | 3+ |
| Shiraz | شیراز | 2002 | 3 | 3+ | 3 | 4 |
| Shiroudi | شیرودی | 1997 | 3+ | 2+ | 3 | 3+ |
| Sirvan | سیروان | 2011 | 3+ | 3 | 3+ | 4 |
| Sistan | سیستان | 2006 | 2 | 3 | 3+ | 4 |
| Sivand | سیوند | 2009 | 1 | 1 | 3+ | 4 |
| Tajan | تجن | 1995 | 3+ | 3+ | 3+ | 4 |
| Tobari F 66 | توباری اف ۶۶ | 1969 | 2+ | 3 | 4 | 4 |
| Vee/Nac | ویری ناک | 1997 | 3+ | 3+ | 3 | 1 |
| Zagros | زاگرس | 1997 | 4 | 4 | 3 | 4 |
| Morocco | موراکو | - | 3+ | 4 | 3 | 4 |
| McNair | مک نایر | - | 3+ | 4 | 4 | 3+ |

**مایه‌زنی و ارزیابی بیماری**

ارزیابی مقاومت ژنوتیپ‌های گندم مورد مطالعه نسبت به بیماری زنگ سیاه در سال ۱۳۹۸ در گلخانه‌های بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (کرج) انجام شد. برای این منظور، در داخل گلدان‌هایی با ارتفاع و قطر ۱۰ سانتی‌متری حاوی مخلوط خاک معمولی، پیت ماس و خاک‌برگ به نسبت ۱:۱:۲ بذر چهار رقم آزمایشی به فاصله مساوی از هم و از هر کدام از آن‌ها تعداد ۱۰ بذر به‌صورت کپه‌ای کشت شد. سپس مواد آزمایشی کشت‌شده در دمای ۲۵ -۲۲ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

پس از سپری‌شدن ۸ تا ۱۰ روز، زمانی که برگ اول گیاهچه‌ها به‌خوبی گسترش یافت و به مرحله ۱۲ رشد و نمو فنولوژیکی بر اساس مقیاس زادوکس (باز شدن کامل برگ اول و ظاهر شدن برگ دوم) (Zadoks *et al.*, 1974) رسیدند، اسپورهای چهار نژاد شایع زنگ سیاه جمع‌آوری‌شده از مناطق مختلف کشور (جدول ۱) به‌طور جداگانه روی مواد گیاهی مورد بررسی مایه‌زنی شدند. از سوسپانسیون اسپور نژاد مورد نظر در روغن صنعتی سالترول ۱۷۰ (Soltrol® 170) جهت آلوده‌سازی مواد گیاهی استفاده گردید. به‌منظور اطمینان از صحت داده‌های جمع‌آوری‌شده، برای هر دسته از مواد آلوده‌شده با هر جدایه، دو تکرار در نظر گرفته شد.

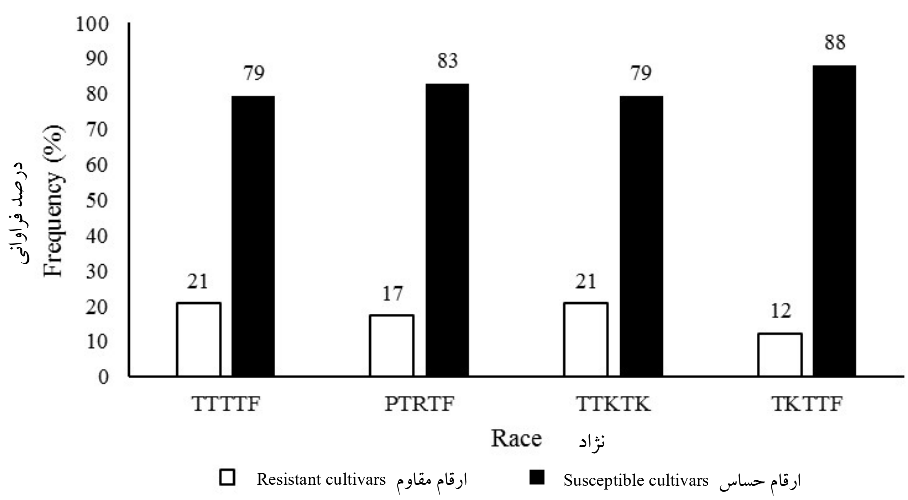
گیاهان مایه‌زنی شده به مدت ۲۴ ساعت در اتاقک تاریک با شرایط دمایی ۲±۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نزدیک به اشباع با هدف نفوذ قارچ عامل بیماری به بافت برگ از طریق روزنه‌ها، نگهداری شدند و سپس به گلخانه با شرایط دمایی ۲±۲۲ درجه سانتی‌گراد و فتوپریود ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انتقال یافتند. چهارده روز پس از مایه‌زنی، تیپ آلودگی گیاهچه‌ها با استفاده از مقیاس 4-0 که توسط استاکمن و همکاران (Stakman *et al.*, 1962) معرفی و توسط مکینتاش و همکاران (McIntosh *et al.*, 1995) تکمیل شده است، یادداشت‌برداری انجام شد. ارقامی که دارای واکنش "0"، ";0"، ";"، "1;"، "1"، "+1"، "-2"، "2C"، "2" یا "+2" بودند، به عنوان ارقام با واکنش مقاومت و ارقامی که واکنش "3"، "+3" یا "4" نشان دادند، به‌عنوان ارقام با واکنش حساسیت شناسایی شدند.

به‌منظور انجام تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تیپ آلودگی تغییریافته استاکمن و همکاران (Stakman *et al.*, 1962) به مقیاس خطی تبدیل شد، به‌طوری‌که "0"، ";0"، ";"، "1;"، "1"، "+1"، "-2"، "2C"، "2"، "+2"، "3"، "+3" و "4" به ترتیب به‌صورت ۱۳ تا یک کدگذاری شدند. گروه‌بندی ارقام بر اساس روش Ward و با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. محاسبه میانگین خوشه‌ها و درصد انحراف از میانگین گروه‌ها در روش تجزیه خوشه ای برای هر یک

از نژادهای بیماری زنگ سیاه با استفاده از پردازشگر Excel انجام شد. برای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و رسم نمودارهای چندمتغیره از نرم‌افزار Minitab استفاده شد.

## نتایج و بحث

واکنش ارقام گندم مورد استفاده در بررسی حاضر در برابر نژادهای مختلف بیماری زنگ سیاه در جدول ۲ ارائه شده است. بررسی فراوانی حساسیت/مقاومت ارقام در برابر نژادهای مختلف قارچ عامل بیماری زنگ سیاه نشان داد که ارقام مورد مطالعه در این پژوهش از نظر واکنش در برابر این نژادها متفاوت بودند (شکل ۱). از نظر واکنش در برابر نژاد TTTTF، حدود ۷۹ درصد از ارقام مورد بررسی حساس و حدود ۲۱ درصد دیگر از آن‌ها شامل ارقام عدل، البرز، آرتا، اروند، کریم، نیک‌نژاد، افق، پیشتاز، قابوس، سیستان، سیوند و توباری دارای واکنش مقاومت بودند.




شکل ۱- فراوانی ارقام مقاوم و حساس از نظر واکنش به نژادهای قارچ عامل بیماری زنگ سیاه در مرحله گیاهچه ای

Fig. 1. Frequency of resistant and susceptible cultivars their reaction to different stem rust pathogen races at seedling stage

با توجه به بیماری‌زایی این نژاد روی ژن‌های مقاومت *Sr5*، *Sr6*، *Sr7a*، *Sr7b*، *Sr8a*، *Sr8b*، *Sr9a*، *Sr9b*، *Sr9d*، *Sr9e*، *Sr9g*، *Sr10*، *Sr11*، *Sr12*، *Sr13*، *Sr14*، *Sr15*، *Sr16*، *Sr17*، *Sr18*، *Sr19*، *Sr20*، *Sr21*، *Sr22*، *Sr23*، *Sr25*، *Sr28*، *Sr29*، *Sr30*، *Sr34*، *Sr35*، *Sr36*، *Sr37*، *Sr38*، *Sr40*، *SrTmp* و *SrMcN*، این ژن‌ها نمی‌توانند در بروز مقاومت این ارقام در برابر آن دخالت داشته و مقاومت مشاهده شده در آن‌ها باید از ژن‌های مقاومت

مؤثر در برابر این نژاد یعنی *Sr24*، *Sr26*، *Sr27*، *Sr31*، *Sr33* یا *Sr39* و یا از ژن‌هایی ناشناخته ناشی شده باشد.

در خصوص واکنش ارقام آزمایشی نسبت به نژاد PTRTF، تعداد ۱۰ رقم شامل ارقام عدل، البرز، اترک، دز، اینیا، نیک‌نژاد، افق، پیشتاز، شیرودی و سیوند در برابر این نژاد واکنش مقاومت و سایر ارقام که در حدود ۸۲ ارقام مورد بررسی بودند، واکنش حساسیت نشان دادند (شکل ۱). با توجه به مشخصات این نژاد و شکسته شدن ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای *Sr5*، *Sr6*، *Sr7b*، *Sr8a*، *Sr8b*، *Sr9a*، *Sr9b*، *Sr9d*، *Sr9e*، *Sr9g*، *Sr10*، *Sr11*، *Sr12*، *Sr13*، *Sr14*، *Sr15*، *Sr16*، *Sr17*، *Sr18*، *Sr19*، *Sr20*، *Sr25*، *Sr27*، *Sr28*، *Sr29*، *Sr34*، *Sr35*، *Sr36*، *Sr37*، *Sr38*، *Sr39*، *SrTmp* و *SrMcN* توسط آن، مقاومت مشاهده‌شده در این ۱۰ رقم در برابر این نژاد نمی‌تواند به دلیل حضور این ژن‌ها باشد. بلکه، مقاومت موجود در آن‌ها ممکن است توسط ژن‌های مقاومت مؤثر در برابر این نژاد شامل *Sr7a*، *Sr21*، *Sr22*، *Sr23*، *Sr24*، *Sr26*، *Sr30*، *Sr31*، *Sr32*، *Sr33* یا *Sr40* و یا از ژن‌های مقاومتی که ناشناخته هستند، ناشی شده باشد.

از نظر واکنش در برابر نژاد TTKTK که متعلق به گروه نژادی Ug99 می‌باشد، حدود ۷۹ درصد از ارقام مورد مطالعه، واکنش حساسیت و بقیه یعنی ارقام عدل، بهار، بیات، داراب ۲، دز، فلات، گهر، کاوه، مرودشت، مروارید، پارسی و قدس واکنش مقاومت نشان دادند. با توجه به بی‌اثر شدن ژن‌های مقاومت *Sr5*، *Sr6*، *Sr7a*، *Sr7b*، *Sr8a*، *Sr8b*، *Sr9a*، *Sr9b*، *Sr9d*، *Sr9e*، *Sr9g*، *Sr10*، *Sr11*، *Sr12*، *Sr14*، *Sr15*، *Sr16*، *Sr17*، *Sr18*، *Sr19*، *Sr20*، *Sr21*، *Sr23*، *Sr28*، *Sr29*، *Sr30*، *Sr31*، *Sr33*، *Sr34*، *Sr37*، *Sr38*، *SrTmp* و *SrMcN* در برابر نژاد TTKTK، مسلماً این ژن‌ها نمی‌توانند در بروز مقاومت در ارقام مورد آزمایش مؤثر بوده باشند و مقاومت مشاهده در این ۱۲ رقم باید از ژن‌های مقاومت *Sr13*، *Sr22*، *Sr24*، *Sr25*، *Sr26*، *Sr27*، *Sr32*، *Sr35*، *Sr36*، *Sr39* یا *Sr40* و یا از ژن‌های مقاومت ناشناخته ناشی شده باشد.

بررسی واکنش ارقام آزمایشی در برابر نژاد TKTTF نیز نشان داد که واکنش حدود ۸۸ درصد ارقام مورد مطالعه حساسیت و بقیه آن‌ها یعنی ارقام دز، فلات، گهر، گلستان، کاوه، افق و ویری/ناک مقاومت بود. با توجه به عدم کارآیی ژن‌های مقاومت *Sr5*، *Sr6*، *Sr7a*، *Sr7b*، *Sr8a*، *Sr8b*، *Sr9a*، *Sr9b*، *Sr9d*، *Sr9e*، *Sr9g*، *Sr10*، *Sr11*، *Sr12*، *Sr14*، *Sr15*، *Sr16*، *Sr17*، *Sr18*، *Sr19*، *Sr20*، *Sr21*، *Sr23*، *Sr28*، *Sr29*، *Sr30*، *Sr34*، *Sr35*، *Sr36*، *Sr37*، *Sr38*، *SrTmp* و *SrMcN* در برابر این نژاد، مقاومت مشاهده شده در ارقام مقاوم باید از ژن‌های مؤثر در برابر این نژاد شامل *Sr22*، *Sr24*، *Sr25*، *Sr26*، *Sr27*، *Sr31*، *Sr32*، *Sr33*، *Sr39* یا *Sr40* و یا از

ژن‌های مقاومت ناشناخته ناشی شده باشد.

براساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، هیچ یک از ارقام مورد مطالعه در مرحله گیاهچه ای دارای واکنش مقاومت در برابر تمامی نژادهای مورد بررسی نبود. رقم عدل در برابر سه نژاد TTTTF، PTRTF و TTKTK به‌ترتیب واکنش‌های مقاومت "1"، "+1" و "+2" اما در برابر نژاد TKTTF واکنش حساسیت در مقیاس "+3" نشان داد. در میان ژن‌های مقاومتی که تاکنون شناسایی شده‌اند، ژن‌های مقاومت *Sr22*، *Sr24*، *Sr25*، *Sr26*، *Sr27*، *Sr31*، *Sr32*، *Sr33*، *Sr39* و *Sr40* در ایجاد مقاومت ژنوتیپ‌های گندم در برابر نژاد TKTTF مؤثر هستند. اما با توجه به اینکه این نژاد روی رقم عدل بیماری‌زایی داشت و باعث بروز واکنش حساسیت شد، بنابراین می‌توان اذعان نمود که این ژن‌ها در رقم عدل حضور ندارند. رقم دز نسبت به سه نژاد PTRTF، TTKTK و TKTTF واکنش مقاومت به ترتیب با تیپ‌های آلودگی "+2"، "1" و "+2" و نسبت به نژاد TTTTF با بروز تیپ آلودگی "4" واکنش حساسیت نشان داد. با توجه به مؤثر بودن ژن‌های مقاومت *Sr24*، *Sr26*، *Sr27*، *Sr31*، *Sr33* و *Sr39* در برابر نژاد TTTTF و نظر به حساسیت رقم دز در برابر این نژاد، به احتمال قوی این رقم فاقد ژن‌های مقاومت مذکور است.

رقم افق در برابر سه نژاد TTTTF، PTRTF و TKTTF واکنش مقاومت در مقیاس‌های "2"، "-2" و "+2" نشان داد و در برابر نژاد TTKTK واکنش حساسیت با تیپ آلودگی "3" داشت. با توجه به بی‌اثر شدن مقاومت ژن‌های *Sr5*، *Sr6*، *Sr7a*، *Sr7b*، *Sr8a*، *Sr8b*، *Sr9a*، *Sr9b*، *Sr9d*، *Sr9e*، *Sr9g*، *Sr10*، *Sr11*، *Sr12*، *Sr13*، *Sr14*، *Sr15*، *Sr16*، *Sr17*، *Sr18*، *Sr19*، *Sr20*، *Sr21*، *Sr22*، *Sr23*، *Sr25*، *Sr27*، *Sr28*، *Sr29*، *Sr30*، *Sr34*، *Sr35*، *Sr36*، *Sr37*، *Sr38*، *Sr39*، *Sr40*، *SrTmp* و *SrMcN* توسط نژادهای TTTTF، PTRTF و TKTTF، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که مقاومت مشاهده شده در برابر این نژادها در رقم افق، به حضور ژن‌های مقاومت نامبرده ارتباطی ندارد.

تعداد ژن‌هایی که تاکنون شناسایی شده‌اند و مقاومت در برابر نژاد TTKTK را سبب می‌شوند، محدود به ژن‌های *Sr2*، *Sr22*، *Sr24*، *Sr25*، *Sr26*، *Sr36*، *Sr39*، *SrCad* و *SrAmigo* می‌باشند (Jin and Singh, 2006). علاوه بر این ژن‌ها، مناطق ژنومی کنترل‌کننده مقاومت دیگری نیز شناسایی شده است که تنها تعداد معدودی از آن‌ها مقاومت خود را در برابر گروه نژادی Ug99 حفظ کرده‌اند (Baraibar *et al*., 2020). نظر به این که در بررسی گیاهچه‌ای حاضر رقم افق در برابر نژاد TTKTK واکنش حساسیت نشان داد، عدم حضور این ژن‌ها و مناطق ژنومی به غیر از ژن *Sr2* نیز در رقم افق به اثبات می‌رسد. تمامی این ژن‌ها به‌جز ژن *Sr2* مقاومت گیاهچه‌ای را به

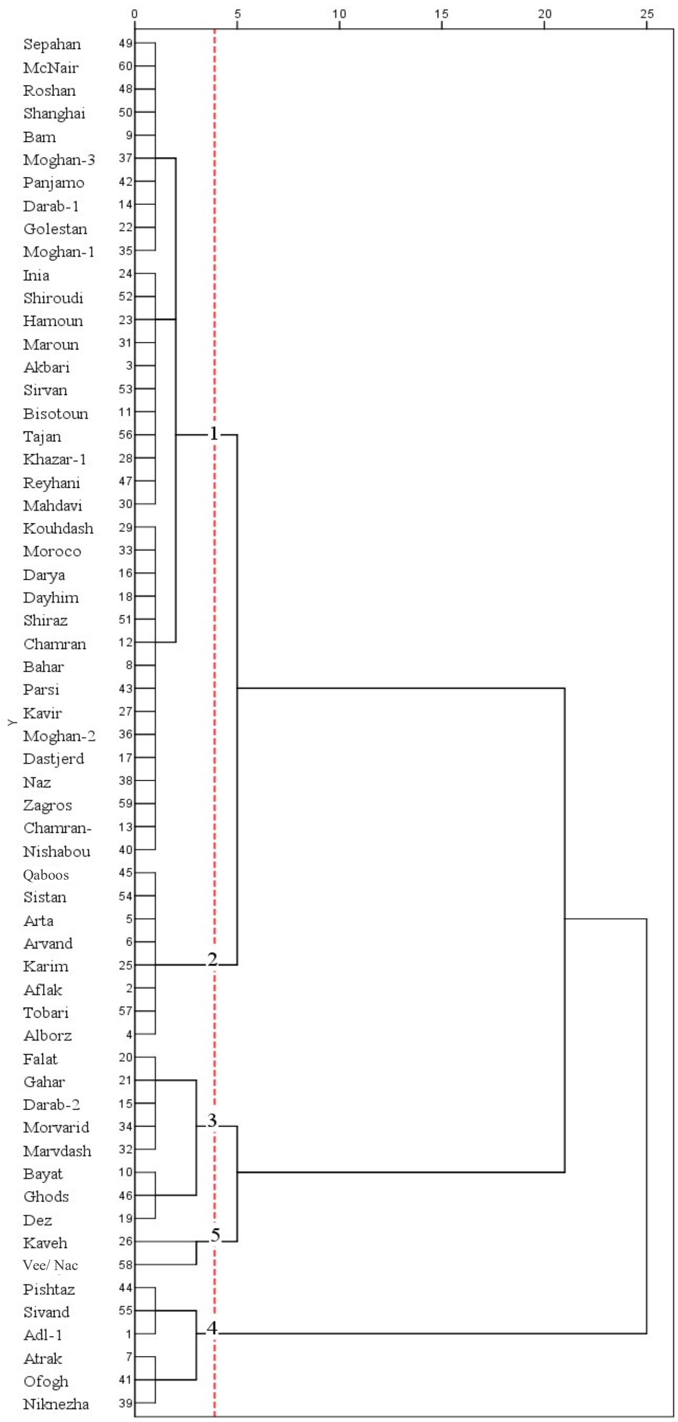
همـــراه دارنـــد و از خویشـــاوندان وحشـــی و یا چـاودار زراعـی بـه گنـدم انتقـال یافتهانـد کـه امروزه مسئولیت مقاومت پایدار نسبت به بیمـاری زنگ سیاه را در سطح بینالمللی دارا میباشند (Jin and Singh, 2006). ژن *Sr2* غیراختصاصـــی نـــژاد (Non race-specific) میباشـد و مقاومـت تـدریجی (Slow rusting) در مرحلـه گیـاه کامـل ایجـاد میکنـد و بـرای بررسی حضـور ایـن ژن بایـد ارزیـابی در مرحلـه گیـاه کامـل انجـام شـود. تعـدادی از ژنهـای کوچـــک اثـــر دیگـــری وجـــود دارنـــد کـه بـا ژن *Sr2* همـراه شـده و کمـپلکس *Sr2* (*Sr2*-Complex) را تشـکیل میدهنـد کـه در مقاومت نقش دارند (Singh *et al.*, 2006).

بیشتر ژنهای مقاومت به بیمـاری زنـگ سـیاه بهصورت نژاد اختصاصی میباشـند و مقاومـت را از مرحلـه گیاهچـهای تـا گیـاه کامـل حفـظ مینماینـد (McIntosh *et al.*, 1995). ارقـام البـرز، نیـکنژاد، پیشـتاز و سـیوند از واکـنش مقاومـت در برابـر دو نـژاد TTTTF و PTRTF و واکـــنش حساســـیت در برابـــر TTKTK و TKTTF برخوردار بودند. در مقابل ارقام فلات، گهـر و کـاوه نسـبت بـه نژادهـای TTKTK و TKTTF دارای واکـنش مقـاوت و نسـبت به نژادهـای TTTTF و PTRTF دارای واکـنش حساسـیت بودنـد. نتـایج بـه دسـت آمـده از ایـن پـژوهش بـرای تعـداد انـدکی از ارقـام تـا حـدودی مغـایر بـا یافتـههای پـاتپور و همکـاران (Patpour *et al.*, 2014) بـود، امـا تاحـدی بـا نتـایج حاصـل از آزمـایش افشـاری (Afshari, 2012) مطابقـت داشـت. علـت مغایرتهای مشاهده شده ممکـن اسـت ناشـی از متفـاوت بـودن نژادهـای عامـل بیمـاری مـورد اسـتفاده از لحـاظ تـوان بیمـاریزایـی و قـدرت تهاجمی آنها باشد.

**گروهبندی ارقام بر اساس تجزیه خوشهای**

تجزیه خوشـهای بـهعنوان یکـی از کـاراترین روشهـای آمـاری چنـد متغیـره اسـت کـه بـرای گروهبندی مشاهدهها بر پایـه چنـد متغیـر اسـتفاده میشـود (Sharma, 1996). در ایـن پـژوهش برای گروهبندی ارقام بر اساس تیپ آلـودگی بـه نژادهای عامل بیماری زنگ سیاه مـورد اسـتفاده از تجزیـــه خوشـــهای بـــه روش وارد (Ward) استفاده شـد (Patpour *et al.*, 2014). نمـودار درختی حاصـل از ایـن تجزیـه در شـکل ۲ ارائـه شده است.

همانطوریکـه در شـکل ۲ مشـاهده میشـود ارقـام مـورد بررسـی در ایـن پـژوهش بـر اسـاس تجزیه خوشهای نـوع واکـنش آنهـا بـه نژادهـای قـارچ عامـل بیمـاری زنـگ سـیاه در پـنج گـروه مختلـف دسـتهبندی شـدند. میـانگین گروههـا و درصد انحراف از میانگین کل بـرای هـر یـک از نژادهای بیماری تحت مطالعه با توجـه بـه نمـودار درختـی حاصـل از تجزیـه خوشـهای محاسـبه گردید (جدول ۳). بر اساس نتایج مندرج در ایـن جدول، در صورتیکه میانگین تیپ آلـودگی در یک گـروه بـیش از میـانگین کـل باشـد، درصـد انحـراف از میـانگین کـل مثبـت خواهـد بـود.




شکل ۲- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه ای برای ارقام گندم بر اساس واکنش آنها به نژادهای مختلف قارچ عامل بیماری زنگ سیاه در مرحله گیاهچه ای با استفاده از روش Ward

Fig. 2. Dendrogram from cluster analysis of the reaction of spring bread wheat cultivars to different stem rust pathogen races at seedling stage using ward method

جدول ۳- میانگین خوشه‌ها و انحراف از میانگین کل برای هر نژاد قارچ عامل بیماری زنگ سیاه برای ارقام گندم نان بهاره

Table 3. Clusters mean and deviation from grand mean of stem rust pathogen races for spring bread wheat cultivars

| Group | گروه | نژاد قارچ عامل زنگ سیاه Stem rust pathogen race | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | TTTTF | PTRTF | TTKTK | TKTTF |
| First group | گروه اول | 1.61 | 1.81 | 2.42 | 1.56 |
| Deviation from grand mean (%) | درصد انحراف از میانگین کل | -21.59 | -18.06 | -14.45 | -12.14 |
| Second group mean | میانگین گروه دوم | 4.38 | 2.38 | 1.88 | 1.00 |
| Deviation from grand mean (%) | درصد انحراف از میانگین کل | 9.85 | -1.00 | -5.48 | -6.50 |
| Third group | گروه سوم | 1.63 | 2.38 | 7.25 | 2.88 |
| Deviation from grand mean (%) | درصد انحراف از میانگین کل | -4.72 | -1.10 | 17.03 | 6.32 |
| Fourth group | گروه چهارم | 8.20 | 8.40 | 3.20 | 2.20 |
| Deviation from grand mean (%) | درصد انحراف از میانگین کل | 16.49 | 20.97 | -1.09 | 0.26 |
| Fifth group | گروه پنجم | 2.50 | 2.00 | 7.00 | 9.00 |
| Deviation from grand mean (%) | درصد انحراف از میانگین کل | -0.02 | -0.75 | 4.00 | 12.05 |
| Grand mean | میانگین کل | 2.52 | 2.58 | 3.18 | 1.95 |

مثبت‌شدن درصد انحراف از میانگین کل مبین ارزش بالای آن گروه نسبت به میانگین کل ارقام می‌باشد.

ارقام سپاهان، مکنیر، روشن، شانگهای، بم، مغان ۳، پنجامو، داراب ۱، گلستان، مغان ۱، اینیا، شیرودی، هامون، مارون، اکبری، سیروان، بیستون، تجن، خزر ۱، ریحانی، مهدوی، کوهدشت، موراکو، دریا، دیهیم، شیراز، چمران، بهار، پارسی، کویر، مغان ۲، دستجردی، ناز، زاگرس، چمران ۲ و نیشابور به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس در برابر همه نژادهای مورد برررسی، در گروه اول قرار گرفتند (شکل ۲). این ارقام از لحاظ تیپ آلودگی ایجاد شده توسط هر یک از نژادهای مورد استفاده، نسبت به میانگین کل، از میانگین کمتری برخوردار بودند و درصد انحراف از میانگین منفی بالایی نیز داشتند (جدول ۳).

گروه دوم متشکل از ارقام قابوس، سیستان، آرتا، اروند، کریم، افلاک، توباری و البرز بود (شکل ۲). به‌جز تیپ آلودگی نژاد TTTTF سایر تیپ‌های آلودگی نژادهای مورد بررسی، میانگین پایین‌تری نسبت به میانگین کل داشتند و از درصد انحراف از میانگین کل منفی برخوردار بودند (جدول ۳). ارقام تشکیل دهنده این گروه نسبت به TTTTF دارای واکنش نیمه مقاوم و نسبت به سه نژاد دیگر دارای واکنش نیمه حساس بودند. ارقام فلات، گهر، داراب ۲، مروارید، مرودشت، بیات، قدس و دز در گروه سوم قرار گرفتند (شکل ۲) و به ترتیب در برابر نژادهای TTTTF و PTRTF واکنش نیمه

حساس، در برابر نژاد TTKTK و نژاد TKTTF واکنش مقاوم و نیمه مقاوم بروز دادند. چون این ارقام از لحاظ تیپ آلودگی دو نژاد TTKTK و TKTTF از میانگین بالاتر و درصد انحراف از میانگین کل مثبت برخوردار بودند (جدول ۳) به‌عنوان ژنوتیپ‌های با واکنش مقاوم و نیمه مقاوم شناخته شدند.

شش رقم پیشتاز، سیوند عدل، اترک، افق و نیک‌نژاد بر اساس طبقه‌بندی در گروه چهارم دسته‌بندی شدند (شکل ۲). این گروه برای کلیه نژادها بجز نژاد TTKTK دارای میانگین بیش‌تر از میانگین کل بود و به همین دلیل درصد انحراف از میانگین کل مثبت شد (جدول ۳). ارقام این گروه دارای واکنش مقاومت نسبت به نژادهای TTTTF و PTRTF و نیز دارای واکنش متوسط نسبت به دو نژاد TTKTK و TKTTF بودند. گروه پنجم که از دو ژنوتیپ کاوه و ویری/ناک تشکیل شد (شکل ۲)، به ترتیب از واکنش متوسط، متوسط، نیمه مقاوم و مقاوم در برابر نژادهای TTTTF، PTRTF، TTKTK و TKTTF برخوردار بودند. پاپتور و همکاران (Patpour *et al* 2014) با استفاده از روش Ward ارقام گندم بهاره و بینابین را گروه‌بندی کردند و بیان نمودند که ارقام چناب، مغان ۲، نوید و آرتا در یک زیرگروه دورتر از ارقام دیگر در گروه اول قرار گرفتند و با توجه به واکنش گیاهچه‌ای آن‌ها که به تمام نژادهای مورداستفاده حساس و تنها در برابر نژاد TKTTC مقاوم بودند، احتمال حضور ژن *Sr11* در این ارقام وجود دارد.

**تجزیه به مؤلفه‌های اصلی**

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر روی تیپ آلودگی چهار نژاد عامل بیماری زنگ سیاه مورد بررسی برروی ۵۸ رقم گندم نان بهاره به همراه دو شاهد حساس به بیماری در جدول ۴ ارائه شده است. دو مؤلفه اول که مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک داشتند و ۸۰ درصد از تغییرات مشاهده شده را شامل شدند به‌عنوان مؤلفه‌های تأثیرگذار انتخاب گردیدند. مؤلفه اول با توضیح ۴۰ درصد از تغییرات کل، دارای ضرایب مثبت

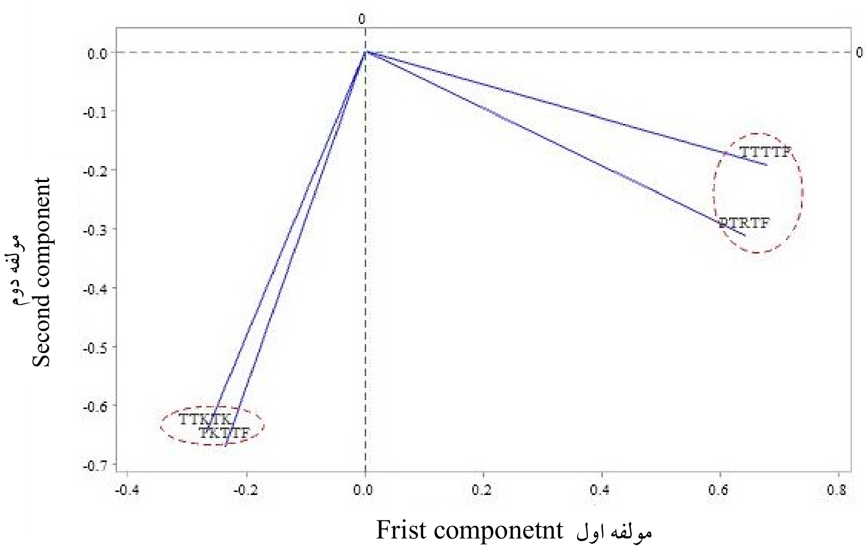
جدول ۴- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی تیپ‌های آلودگی نژادهای قارچ عامل بیماری زنگ سیاه مورد مطالعه در ارقام گندم نان بهاره

Table 4. Principal component analysis of infection type of studied stem rust pathogen races in spring bread wheat cultivars

| مؤلفه اصلی Principal component | نژاد عامل بیماری زنگ سیاه Stem rust pathogen race TTTTF | PTRTF | TTKTK | TKTTF | مقادیر ویژه Eigenvalue | واریانس تبیین شده Proportion of variance | واریانس تبیین شده تجمعی Cumulative variance |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مؤلفه اول PC1 | 0.68 | 0.64 | -0.27 | -0.24 | 1.74 | 0.44 | 0.44 |
| مؤلفه دوم PC2 | -0.19 | -0.31 | -0.65 | -0.67 | 1.46 | 0.36 | 0.80 |

و معنــی‌دار بــرای دو نــژاد TTTTF و PTRTF بود و بنابراین به‌عنوان مؤلفه گزینشی ارقام مقـاوم بـرای نژادهـای TTTTF و PTRTF نامیـده شـد. این مؤلفه توانایی تفکیک ارقـام بـا مقاومـت بـالا بـرای ایـن دو نـژاد را دارا بـود. دومـین مؤلفـه بـا توضـــیح ۳۶ درصـــد از تغییـــرات کـــل، دارای ضرایب منفی و معنی‌دار برای دو نـژاد TTKTK و TKTTF بـود و بـه نـام مؤلفـه گزینشـی ارقـام مقـــاوم بـــرای نژادهـــای TTKTK و TKTTF معرفی شد.

روابط بین نژادهای مختلف به‌صورت نمـودار دوبعـدی مؤلفـه‌های اول و دوم در شـکل ۳ بـه نمایش گذاشته شده است. زاویـه بـین بردارهـای نژادهـا در نمـودار دوبعـدی تصـویر واضـحی از رابطـه بـین نژادهـای بیمـاری موردمطالعـه و نیـز همبســتگی میــان آن‌هــا را بــر اســاس مقــادیر مؤلفـه‌های اول و دوم نمایـان می‌سـازد. در واقـع کســینوس زاویــه بــین بردارهــا مؤیــد میــزان همبستگی میان نژادها بـا مؤلفـه‌های اول و دوم و نیز نژادها با یکدیگر است. هنگامی‌که زاویـه بـین بردارهـای نژادهـای عامـل بیمـاری زنـگ سـیاه موردمطالعــه، کوچــک‌تر از ۹۰ درجــه باشــد، همبســتگی مثبــت اســت. زاویــه ۹۰ درجــه بــین بردارها نشانگر این موضوع است که میان نژادهـا و محـور مؤلفــه‌ها همبســتگی وجــود نداشــته و مســتقل می‌باشــند و درصــورتی‌که زاویــه بــین بردارهــا بــیش از ۹۰ درجــه باشــد، بــه معنــای همبستگی منفی بین آن‌ها است.

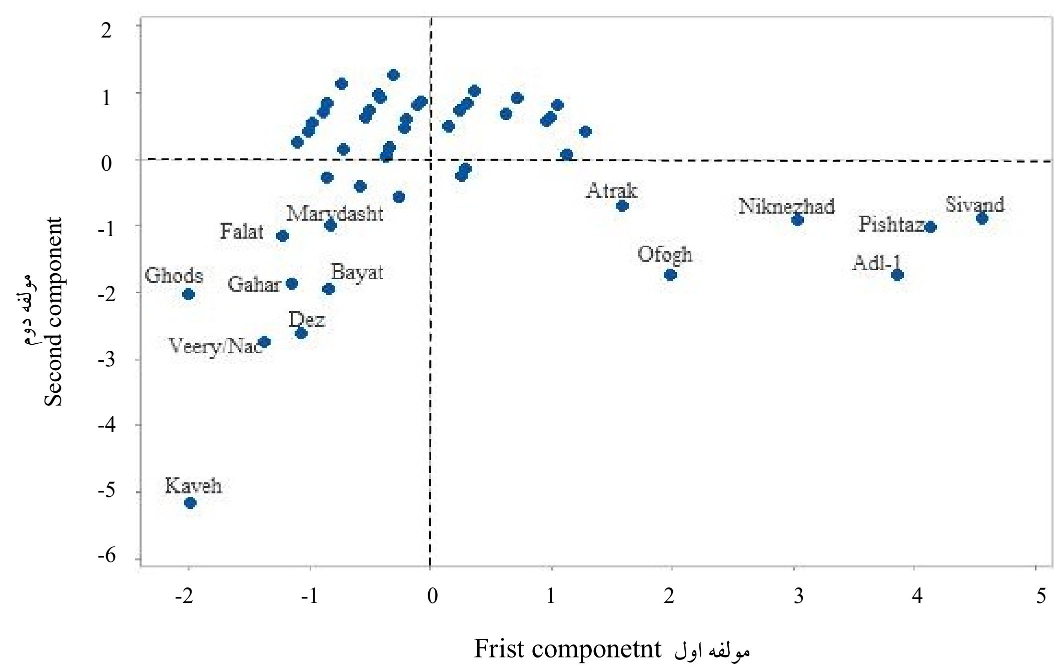



شکل ۳- نمودار مؤلفه‌های اول و دوم برای نژادهای قارچ عامل بیماری زنگ سیاه مورد مطالعه در ارقام گندم نان بهاره

Fig. 3. Diagram of the first and second components for stem rust pathogen races in spring bread wheat cultivars

با در نظر گرفتن این موضوع و نیز با توجه به شکل ۳ بین نژادهای TTTTF و PTRTF (گروه اول) و نیز بین دو نژاد TTKTK و TKTTF (گروه دوم) همبستگی مثبت و بالایی وجود دارد که این نشان‌دهنده پاسخ تقریباً مشابه ارقام در هر یک از گروه‌های نژاد قارچ عامل بیماری زنگ سیاه است. از این امر چنین استنباط می‌شود که میان رتبه تیپ آلودگی این ارقام تفاوت چندانی وجود ندارد. وجود همبستگی نزدیک به صفر (با توجه به کسینوس زاویه ۹۰ درجه میان جفت نژادهای مذکور) بین نژادهای TTTTF و TKTTF، TTTTF و TTKTK، PTRTF و TTKTK و نیز بین دو نژاد PTRTF با TKTTF نشانگر عدم تشابه این جفت نژادها از لحاظ تیپ آلودگی بیماری است. به‌بیان‌دیگر ژنوتیپ‌ها در این جفت‌های نژادی روند آلودگی مستقلی را داشتند.

پراکنش ارقام بر اساس مقادیر مؤلفه‌های اول و دوم در شکل ۴ نشان داده شده است. ارقامی که نزدیک به محل تقاطع دو محور (نزدیک به صفر) باشند دارای کمترین سطح مقاومت به کلیه نژادهای قارچ عامل بیماری زنگ سیاه می‌باشند و در گروه حساس قرار می‌گیرند. بر این اساس، اکثریت ارقام از مقاومت کم‌تری برخوردار بودند و در برابر نژادهای مورد مطالعه واکنش حساسیت




شکل ۴- نمودار پراکنش ارقام گندم نان بهاره مورد مطالعه بر اساس مؤلفه‌های اول و دوم

Fig. 4. Distribution diagram of spring bread wheat cultivars based on the first and second components

داشتند. با توجه به این‌که دو نژاد TTTTF و PTRTF دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با مؤلفه اول بودند، ارقامی که دارای مقادیر مؤلفه اول مثبت و مؤلفه دوم پایین باشند، نسبت به این نژادها مقاوم هستند. بر این اساس، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که به‌ترتیب ارقام سیوند، پیشتاز، عدل، نیک‌نژاد و افق دارای مقاومت اختصاصی در برابر دو نژاد TTTTF و PTRTF می‌باشند.

با توجه به اینکه دو نژاد TTKTK و TKTTF دارای مقادیر مؤلفه دوم منفی بودند، ارقامی که در جهت منفی محور عمودی قرار گرفتند نسبت به قسمت مثبت این محور مقاومت بیشتری دارند. یعنی با حرکت از قسمت منفی محور عمودی به سمت قسمت مثبت، مقاومت ارقام نیز به‌تدریج در برابر این دو نژاد کاهش می‌یابد. با بررسی اطلاعات شکل ۴ مشخص می‌شود که رقم کاوه در برابر هر دو نژاد TTKTK و TKTTF در مقایسه با سایر ارقام از سطح مقاومت بالایی برخوردار بود. ملیحی‌پور و همکاران (Malihipour *et al*., 2020) واکنش ژنوتیپ‌های گندم اقلیم سرد کشور را نسبت به یک جدایه از نژاد PTRTF، دو جدایه از نژاد TTTTF و سه جدایه از نژاد TKTTF مورد آزمایش قرار دادند و بیان داشتند که سه رقم MV-17، پیشگام و گاسکوین، چهار لاین در دست نامگذاری C-88-7، C-88-14، C-89-7 و CD-89-10 و لاین امیدبخش C-94-6 با دارا بودن پایین‌ترین تیپ‌های آلودگی در برابر جدایه‌های قارچ عامل بیماری زنگ سیاه، بالاترین مقاومت را داشتند.

نتایج این پژوهش نشان داد که بیشتر ارقام گندم نان بهاره مورد آزمایش در مرحله گیاهچه‌ای در برابر چهار نژاد از قارچ عامل بیماری حساس بودند. البته ۱۲ تا ۲۱ درصد از ارقام آزمایشی در برابر این چهار نژاد از قارچ عامل بیماری زنگ سیاه مقاومت گیاهچه‌ای قابل قبولی نشان دادند. با توجه به مؤثر بودن دو ژن مقاومت *Sr24* و *Sr26* در برابر هر چهار نژاد مورد استفاده و کارآیی هفت ژن مقاومت *Sr22*، *Sr27*، *Sr31*، *Sr32*، *Sr33*، *Sr39* و *Sr40* در برابر سه نژاد از چهار نژاد مذکور، ممکن است یک یا چند ژن از بین آن‌ها در بروز مقاومت در این ارقام گندم نان نقش داشته باشند. علاوه بر آن، احتمال دخالت برخی ژن‌های مقاومت ناشناخته نیز در بروز مقاومت این ارقام می‌تواند مدنظر قرار گیرد.

براساس نتایج حاصل از تحقیق حاضر، ارقام فلات، گهر، داراب ۲، مروارید، مرودشت، بیات، قدس، دز، پیشتاز، سیوند، عدل، اترک، افق، نیک‌نژاد، کاوه و ویری/ناک حداقل در برابر دو نژاد از چهار نژاد قارچ عامل بیماری زنگ سیاه مورد آزمایش واکنش مقاوم یا نیمه مقاوم داشتند. انتظار این است که این ارقام در مناطق شیوع این نژادها در کشور در مرحله گیاه کامل نیز مقاومت قابل قبول داشته باشند.

استفاده از ارقام مقاوم گندم مؤثرترین و کاراترین روش برای کنترل و مدیریت بیماری

زنگ سیاه است. بنابراین نتایج به دست آمده از این پژوهش در خصوص واکنش ارقام گندم نان بهاره می‌تواند برای به‌نژادگران گندم در راستای تولید ارقام مقاوم نسبت به نژادهای قارچ عامل بیماری زنگ سیاه غالب در کشورمفید واقع شود. بدیهی است که اگر نتایج حاصله با نتایج ارزیابی در مرحله گیاه کامل همراه شود، در شناسایی ارقام گندم با مقاومت متنوع و پایدار مؤثرتر خواهد بود.

**سپاسگزاری**

نگارندگان از آقای دکتر رامین روح‌پرور عضو هیات علمی بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به‌خاطر شناسایی جدایه‌های قارچ عامل بیماری زنگ سیاه گندم مورد استفاده در این پژوهش و در اختیار گذاشتن اطلاعات مربوط به آنها، آقای مهندس اسمعیل ابراهیمی میمند، خانم مهندس زهره بیات و سایر همکاران گلخانه‌های تحقیقاتی واحد بیماری های غلات بخش تحقیقات غلات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال وبذر به‌خاطر کمک در اجرای این پژوهش صمیمانه سپاسگزاری می کنند.

**References**

**Afshari, F. 2012.** Genetics of pathogenicity of wheat stem rust pathogen (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) and reaction of wheat genotypes to the disease. Iranian Journal of Plant Protection Science 43: 357-365 (in Persian).

**Bamdadian, A., and Torabi, M. 1978.** Epidemiology of wheat stem rust in southern areas of Iran in 1976. Iranian Journal of Plant Pathology 14 (1/4): 20-19.

**Baraibar, S., García, R., Silva, P., Lado, B., Castro, A., Gutiérrez, L., Kavanová, M., Quincke, M., Bhavani, S., and Randhawa, M. S. 2020.** QTL Mapping of resistance to Ug99 and other stem rust pathogen races in bread wheat. Molecular Breeding 40 (8): 1-16.

**Esfandiari, E. 1947.** Cereal rusts in Iran. Entomology and Phytopathology Journal 4: 67-76 (in Persian).

**Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., and Toulmin, C. 2010.** Food security: the challenge of feeding 9 billion people. Science 327 (5967): 812-818.

**Hodson, D. 2011.** Shifting boundaries: challenges for rust monitoring. Euphytica 179 (1): 93-104.

**Jin, Y., and Singh, R. P. 2006.** Resistance in US wheat to recent Eastern African isolates of *Puccinia graminis* f. Sp. *tritici* with virulence to resistance gene *Sr31*.

Plant Disease 90 (4): 476-480.

**Jin Y., Singh, R. P., Ward, R. W., Wanyera, R., Kinyua, M., Njau, P., Fetch, T., Pretorius, Z. A., and Yahyaoui, A. 2007.** Characterization of seedling infection types and adult plant infection responses of monogenic *Sr* gene lines to race TTKS of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. Plant Disease 91: 1096–1099.

**Joshi, L. M., Singh, D., and Srivastava, K. D. 1986.** Problems and progress of wheat pathology in South Asia. Malhotra Publishing House. 401 pp.

**Kolmer, J. 1996.** Genetics of resistance to wheat leaf rust. Annual Review of Phytopathology 34 (1): 435-455.

**Leonard, K. J., and Szabo, L. J. 2005.** Stem rust of small grains and grasses caused by *Puccinia graminis*. Molecular Plant Pathology 6 (2): 99-111.

**Malihipour, A., Ebrahimi-Meymand, E., and Mostafavi, Kh. 2020.** Investigation on effectiveness of wheat stem rust resistance genes in iran and the latest response of wheat genotypes from the cold agro-climatic zone to the disease. Iranian Journal of Plant Pathology 56 (1): 69-97.

**McIntosh, R. A., Wellings, C. R., and Park, R. F. 1995.** Wheat rusts: an atlas of resistance genes. CSIRO Publications, Victoria, Australia. 200 pp.

**Nazari, K., Mafi, M., Yahyaoui, A., Singh, R. P., and Park, R. F. 2009**. Detection of wheat stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) race TTKSK (Ug99) in Iran. Plant Disease 93: 317.

**Oerke, E. C. 2006.** Crop losses to pests. Journal of Agricultural Science 144: 31-43.

**Oliver, R. P. 2014.** A Reassessment of the risk of rust fungi developing resistance to fungicides. Pest management science 70 (11): 1641-1645.

**Pardey, P. G., Beddow, J., Kriticos, D., Hurley, T., Park, R., Duveiller, E., Sutherst, R., Burdon, J., and Hodson, D. 2013.** Right-sizing stem-rust research. Science 340 (6129): 147-148.

**Patpour, M., Nazari, K., Alavi, S. M., and Mousavi, A. 2014.** Detection of resistance sources to iranian prevalent stem rust races in commercial wheat cultivars. Seed and Plant Improvment Journal 30 (1): 133-154.

**Pfeifer, M., Kugler, K. G., Sandve, S. R., Zhan, B., Rudi, H., Hvidsten, T. R., Mayer, K. F., Olsen, O.-A., and Consortium, I. W. G. S. 2014.** Genome interplay in the grain transcriptome of hexaploid bread wheat. Science 345 (6194):

**Pretorius, Z. A., Singh, R. P., Wagoire, W. W., and Payne, T. S. 2000.** Detection of virulence to wheat stem rust resistance gene *Sr31* in *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in Uganda. Plant Disease 84: 203.

**Reynolds, M. P., and Borlaug, N. 2006**. Impacts of breeding on international collaborative wheat improvement. The Journal of Agricultural Science 144: 3-17.

**Roelfs, A. P., and Bushnell, W. R. 1985.** The cereal rusts. Academic Press Orlando, FL. 592 pp.

**Roelfs, A.P., Singh, R. P., and Saari, E. E. 1992.** Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management. CIMMYT, Mexico D.F., Mexico. 81 pp.

**Sharif, G., Bamdadian, A., and Daneshpajoh, B. 1970.** Physiological races of wheat stem rust in Iran (1965-1970). Applied Entomology and Phytopathology 6: 73-100 (in Persian).

**Sharma, S. 1996.** Applied multivariate techniques. John Wiley and Sons Inc. USA. 512 pp.

**Singh, R. P., Hodson, D. P., Huerta-Espino, J., Jin, Y., Njau, P., Wanyera, R., Herrera-Foessel, S. A., and Ward, R. W. 2008.** Will stem rust destroy the world's wheat crop? Advances in Agronomy 98: 271-309.

**Singh, R. P., Hodson, D. P., Jin, Y., Huerta-Espino, J., Kinyua, M. G., Wanyera, R., Njau, P., and Ward, R. W. 2006.** Current status, likely migration and strategies to mitigate the threat to wheat production from race Ug99 (TTKS) of stem rust pathogen. CAB Reviews: Perspectives In Agriculture, Veterinary Science, Nutrition And Natural Resources 1 (54): 1-13.

**Singh, R. P., Hodson, D. P., Jin, Y., Lagudah, E. S., Ayliffe, M. A., Bhavani, S., Rouse, M. N., Pretorius, Z. A., Szabo, L. J., and Huerta-Espino, J. 2015.** Emergence and spread of new races of wheat stem rust fungus: continued threat to food security and prospects of genetic control. Phytopathology 105 (7): 872-884.

**Singh, R. P., Singh, P. K., Rutkoski, J., Hodson, D. P., He, X., Jørgensen, L. N., Hovmøller, M. S., and Huerta-Espino, J. 2016.** Disease impact on wheat yield potential and prospects of genetic control. Annual Review of Phytopathology 54: 303-322.

**Stakman, E. C., Stewart, D., and Loegering, W. 1962.** Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* var. *tritici*. USDA Washington. 54 pp.

**Zadoks, J. C., Chang, T. T., and Konzak, C. F. 1974.** A decimal code for the growth stages of cereals. Weed research 14 (6): 415-421.